

一 高耐久性舗装シリーズ 一

『スーパーEpo アスコン』 『スーパーポリアスコン』 『ウルトラペープH』

美馬 孝之¹ 朴 希眞² 川上 聖²

¹日本道路株式会社 営業本部 技術営業部

²日本道路株式会社 生産技術本部 技術研究所

舗装のさらなる高強度化を図り、長寿命化に寄与することを目的として、『スーパーEpoアスコン』『スーパーポリアスコン』『ウルトラペープH』の3種類の高耐久性混合物を開発した。一方で、高耐久性舗装に必要とされる性能は、適用条件により異なる場合も多いため、ニーズに応じた工法の選定ができるように体系化について検討を行い、「高耐久性舗装シリーズ」として整理した。本論文では、開発した高耐久性舗装の概要と、適用条件に応じた選定方法（体系化）について報告する。

キーワード：高耐久性舗装，エポキシ樹脂，ポリエステル樹脂，高強度半たわみ性舗装

1. はじめに

我が国における舗装の維持修繕費が、新設費を上回るようになって久しい。舗装のストックは増加傾向にあり、これらを効果的・効率的に維持していくことが重要となっている。また、重荷重車を使用する工場施設内をはじめ、バス駐停車帯、サービスエリアなどの大型車駐車場においては、供用後に舗装の損傷が生じる事例もあり、舗装の「長寿命化」がクローズアップされている。

一方で、近年では、経済活動の活発化に伴う物流用車両の増加、さらには、国際海上コンテナ車両や特殊車両等の大型車両の通行が増加しており、舗装分野の超重荷重や静止荷重に対する対応も重要となってきている。

しかしながら、供用中の道路や駐車場においては、改修時に工程上の制約を受ける場合も多く、高耐久かつ、早期交通開放が可能な舗装の開発が望まれている。

以上のことから、舗装のさらなる高強度化を図り、長寿命化に寄与することを目的として、以下の3種類の高耐久性混合物を開発した。

- ①エポキシ樹脂を用いたエポキシアスファルト混合物（スーパーEpoアスコン）
- ②ポリエステル樹脂を用いたポリエステルアスファルト混合物（スーパーポリアスコン）
- ③高強度セメントミルクを用いた半たわみ性混合物（ウルトラペープH）

これらの舗装工法を体系化し、ニーズに応じて選定できるように、「高耐久性舗装シリーズ」としてメニュー化した。本論文では、開発した高耐久性舗装の概要と、適用条件に応じた選定方法（体系化）について報告する。

2. 開発した高耐久性混合物の概要

開発した高耐久性混合物の概要を、以下に示す。

(1) スーパーEpoアスコン

スーパーEpoアスコンは、通常のアスファルト混合物に、**写真-1**に示す熱硬化性の2成分型エポキシ樹脂を添加したエポキシアスファルト混合物である。本混合物は、アスファルトの持つたわみ性とエポキシ樹脂の強靱性を併せ持つ、優れた舗装材料である。なお、エポキシ樹脂には固形タイプを使用しており、混合物の安定した品質が確保でき、少量出荷への対応を可能としている。



写真-1 固形エポキシ樹脂

(2) スーパーポリアスコン

スーパーポリアスコンは、通常のアスファルト混合物に、**写真-2**に示すポリエステル樹脂を添加したものである。ポリエステル樹脂は、茶褐色で粉末状（3～0mm）、物性は108℃で軟化点を持ち、アスファルト混合物製造時にミキサに投入する。混合温度付近では熔融し、舗設後供用時には硬化して混合物の強度を増加させる熱可塑性樹脂である。



写真-2 ポリエステル樹脂

(3) ウルトラペープH

ウルトラペープHは、従来のセメントミルクより水セメント比を大きく低減させて高強度を持たせつつ、交通開放時間の短縮を目的として開発したセメントミルクを

用いた高強度半たわみ性混合物である。一般的に水セメント比を低減させると流動性が低下するため、充填率が低くなり、強度も小さくなる。開発した高強度セメントミルクは、無機系混和材や高性能減水剤などを配合することで、従来と同等な充填率を確保し、セメントミルク自体の強度を著しく増大させたものである。P ロートとセメントミルク充填率の関係を図-1 に示す。

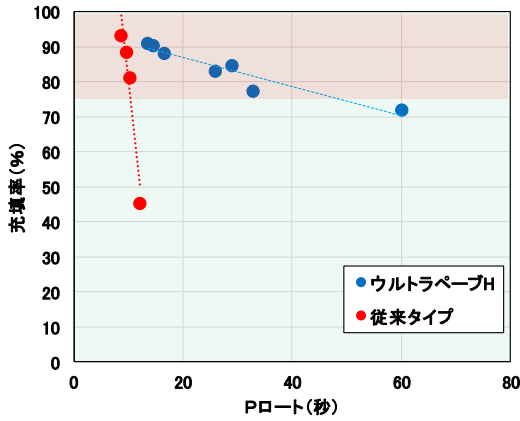


図-1 Pロートとセメントミルク充填率の関係

3. 高耐久性舗装の混合物特性

ここでは、耐流動性や耐水性、耐静止荷重性、たわみ性、耐油性に代表される高耐久性舗装の混合物特性について概説する。なお、本評価では、アスファルト系としてポリマー改質アスファルトⅡ型アスファルト混合物（以下、改質Ⅱ型アスコン）、半たわみ性系として従来型半たわみ性混合物（以下、従来半たわみ性混合物）をそれぞれ比較混合物としている。

3-1 混合物特性

(1) 耐流動性

耐流動性については、動的安定度 (DS) により評価している。ホイールトラッキング試験結果を表-1に示す。各混合物のDSは、6,000回/mm以上の結果となっているが、改質Ⅱ型アスコンを除く混合物については、それぞれ21,000回/mmの値を示しており（従来半たわみ性混合物含む）、高い耐流動性を有していることがわかる。

表-1 ホイールトラッキング試験結果

| | 混合物の種類 | 試験温度 (°C) | DS (回/mm) | 試験方法 |
|---------|-------------|-----------|-----------|---------------|
| アスファルト系 | 改質Ⅱ型アスコン | 60 | 6,300 | 調査・試験法便覧 B003 |
| | スーパーEpoアスコン | | 21,000 | |
| | スーパーポリアスコン | | 21,000 | |
| 半たわみ性系 | 従来半たわみ性混合物 | | 21,000 | |
| | ウルトラペープH | 21,000 | | |

(2) 耐流動性および耐水性

重荷重に対応した高耐流動性のアスファルト混合物の場合、高温時 (60°C) の塑性変形が小さいために、ホイ

ールトラッキング試験ではその優位性を評価することが困難な場合がある。そのため、欧米で使用されている長時間試験を行うハンバーグ・ホイールトラッキング

(Hamburg Wheel Tracking, 以下HWT) 試験機を用い、高耐久性混合物の耐流動性および耐水性について評価している。HWT試験機を写真-3に、試験条件を表-2に示す。

表-2 HWT試験条件

| 項目 | 仕様 (AASHTO T324-04) |
|------|---------------------|
| 試験条件 | 60°C (気中・水浸) |
| 载荷輪 | 鉄輪 |
| 走行距離 | 230mm |
| 走行速度 | 50回/分 |
| 载荷荷重 | 705 N |
| 走行回数 | 10,000回 |
| 供試体 | GTM (直径150mm, 2個) |
| 厚さ | 60mm |

写真-3 HWT試験機

HWT 試験結果を図-2 および図-3 に示す。耐流動性については、アスファルト系の場合では、改質Ⅱ型アスコンよりもスーパーEpoアスコン、スーパーポリアスコンのわだち掘れが著しく小さく、大きな差が認められる。

また、半たわみ性系では、高強度半たわみ性混合物は、従来半たわみ性混合物よりも小さいわだち掘れ深さを示している。このことから、耐流動性は各混合物で明確な差が認められており、高耐久性混合物の優位性が確認されている。

一方で、耐水性については、走行回数ごとのわだち掘れ深さを測定し、わだち掘れが急激に進行する点を剥離変曲点 (SIP) として評

価している。SIPは、改質Ⅱ型アスコンで4,463サイクル、従来半たわみ性混合物で5,763サイクルでそれぞれ発生しているが、開発した3種類の高耐久性混合物にはSIPは発生しておらず、剥離は認められていない(写真-4)。

以上の結果から、開発したスーパーEpoアスコンおよびスーパーポリアスコン、ウルトラペープHは、優れた耐流動性および耐水性を有していることがわかる。



写真-4 HWT試験後 (水浸) の供試体例

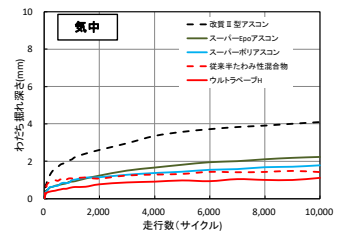


図-2 HWT試験結果 (気中)

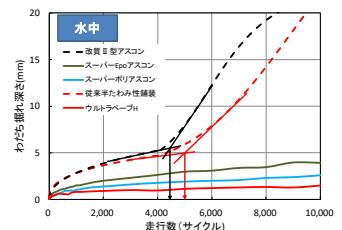


図-3 HWT試験結果 (水浸)

(3) 耐静止荷重性

耐静止荷重性については、曲げクリープ試験により評価をしている。試験の概念を図-4に、試験条件を表-3に示す。本試験では、所定の荷重を載荷して時間ごとに変形量を測定し、破壊時間により静止荷重に対する抵抗性の評価を行っている。

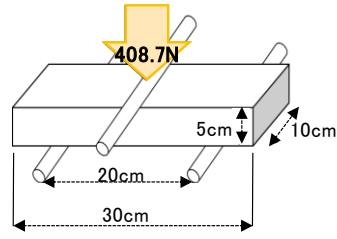


図-4 試験の概念図

表-3 曲げクリープ試験条件

| 曲げ強度 (MPa) | 発生応力 (MPa) | スパン L (cm) | 供試体厚さ h (cm) | 供試体幅 b (cm) | 載荷荷重※ P (N) | 試験温度 (°C) |
|------------|------------|------------|--------------|-------------|-------------|-----------|
| 5 | 0.5 | 20 | 5 | 10 | 408.7 | 20 |

※曲げ強度(想定曲げ強度)の10%に相当する載荷荷重

曲げクリープ試験状況を写真-5に、試験結果を図-5に示す。開発した高耐久性混合物は、静止荷重による変形抵抗性に優れ、いずれの混合物も改質II型アスコンおよび従来半たわみ性混合物よりも高い耐静止荷重性が認められている。特に、ウルトラペープHは6時間を越え、15時間以上経過しても破壊せず、また、スーパーEpoアスコンについても破壊時間は5.3hrとなっており、きわめて高い耐静止荷重性を有している。

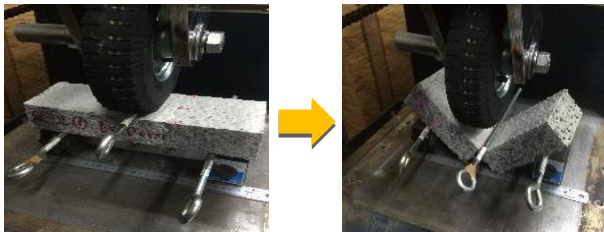


写真-5 曲げクリープ試験状況

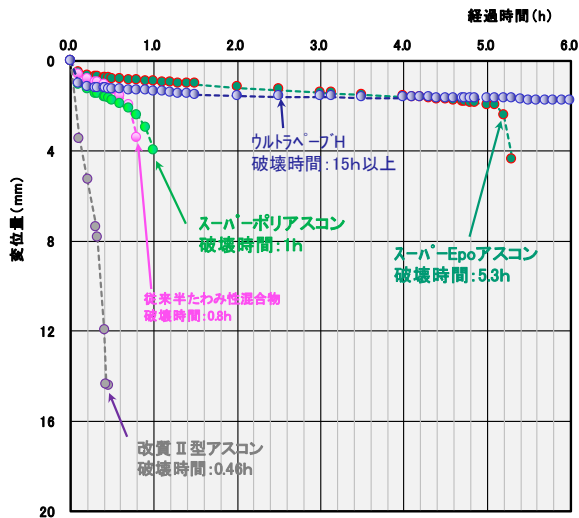


図-5 曲げクリープ試験結果

(4) たわみ性 (ひび割れ抵抗性)

たわみ性の評価は、曲げ強度試験により行っている。試験条件を表-4に、試験結果を表-5に示す。アスファルト系については、スーパーEpoアスコン、スーパーポリアスコンともに改質II型アスコンと同程度の破断ひずみを示している。また、ウルトラペープHについても、従来半たわみ性混合物と同程度の値であり、NEXCOの基準値を満足している。以上より、開発した高耐久性舗装のひび割れ抵抗性は、良好であると判断される。

表-4 曲げ強度試験条件

| | アスファルト系 | 半たわみ性系 |
|---------------|--------------|--------------|
| 試験温度 (°C) | -10 | 20 |
| 養生時間 | 6時間以上 | |
| 載荷速度 (mm/min) | 50 | 10 |
| 供試体サイズ (cm) | 10×5×30 | 5×5×30 |
| 試験方法 | 調査・試験法便覧B005 | NEXCO試験法C043 |

表-5 曲げ強度試験結果

| | 混合物の種類 | 曲げ強度 (MPa) | 破断ひずみ ($\times 10^3$) | 基準値 |
|---------|-------------|------------|-------------------------|------------------------------------|
| アスファルト系 | 改質II型アスコン | 11.4 | 5.1 | - |
| | スーパーEpoアスコン | 12.3 | 7.2 | |
| | スーパーポリアスコン | 11.5 | 4.9 | |
| 半たわみ性系 | 従来半たわみ性混合物 | 2.7 | 7.6 | 2.5MPa以上 3.0×10 ³ 以上 |
| | ウルトラペープH | 3.4 | 5.9 | |

(4) 耐油性

超重荷重車両が停車する駐車場に適用する場合、油に対する抵抗性が重要なポイントとなるため、油浸マーシャル安定度試験により耐油性を評価している。試験条件を表-6に、試験結果および油浸後の供試体を図-6、写真-6に示す。油浸マーシャル安定度は、改質II型アスコンが6.1kNに対し、スーパーEpoアスコン、スーパーポリアスコンはそれぞれ20kN以上であり、従来半たわみ性混合物と同等の値を示している。一方で、ウルトラペープHの油浸マーシャル安定度は40kN以上の値を示し、きわめて高い耐油性を有していることがわかる。

表-6 油浸マーシャル試験条件

| | |
|------|---------------------------------|
| 養生方法 | 48時間油浸 (20°C) 後 30分水浸 (60°C) |
| 試験方法 | マーシャル安定度試験 |

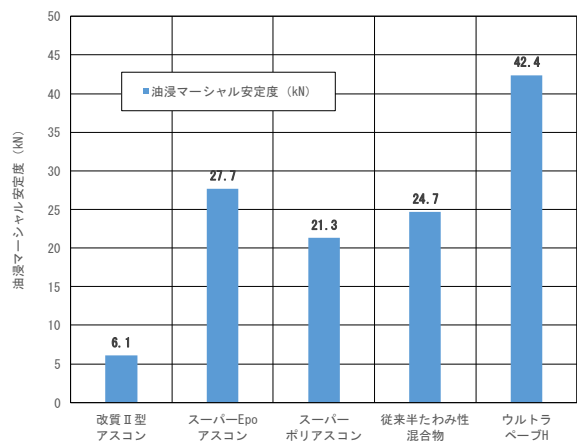


図-6 油浸マーシャル安定度試験結果

| 混合物の種類 | | | |
|---------|---|---|---|
| | 改質II型アスコン | スーパーEpoアスコン | スーパーポリアスコン |
| アスファルト系 |  |  |  |
| 半たわみ性系 | 従来半たわみ性混合物 | ウルトラペープH | |
| |  |  | |

写真6 油浸後の供試体状況

3-2 混合物特性に基づいた高耐久性舗装の適用箇所

耐流動性および耐水性の試験結果に基づき、各高耐久性混合物を適用箇所別に整理した。各高耐久性舗装の施工箇所による有意差を図-7に示す。図-7および耐静止荷重性、ひび割れ抵抗性、耐油性を考慮した結果、スーパーEpoアスコンおよびスーパーポリアスコンは従来型半たわみと同等以上の混合物特性を有していると判断され、重交通路線や物流施設の駐車帯等における適用効果が高いと言える。また、ウルトラペープHは、さらに過酷な重荷重車両が長時間停車する駐車場や重荷重の作業車が走行するSA・PAの大型車駐車帯、コンクリート舗装採用箇所等への適用が期待できる。

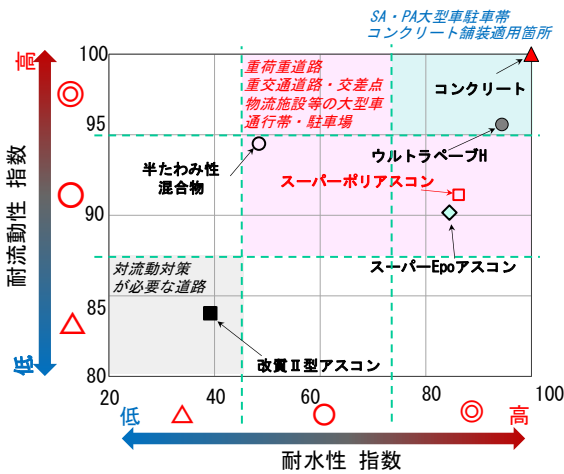


図7 各種高耐久性舗装の施工箇所による有意差

4. 実施工における適用性・供用性の評価

ここでは、実施工および追跡調査による高耐久性舗装の適用性および供用性評価を行った結果について報告する。施工概要を表-7に示す。高耐久性舗装の施工箇所は、重交通荷重が加わる過酷な環境をそれぞれ選定している。

表-7 施工概要

| 施工現場 | 適用箇所 | 高耐久性舗装の種類 | 比較区 | 施工年月 | 追跡調査項目 |
|------|---------------------|-------------|-----------|---------|-----------------------------|
| A | 物流施設 トラックバース | スーパーEpoアスコン | - | 2013年6月 | ・目視観察 ・ひび割れ率 ・わだち掘れ深さ |
| B | 物流施設 トラックバース | スーパーポリアスコン | 改質II型アスコン | 2018年4月 | ・目視観察 ・わだち掘れ深さ |
| C | パーキングエリア 大型車駐車マス | ウルトラペープH | 従来型半たわみ | 2018年4月 | ・目視観察 ・ひび割れ率 ・たわみ量測定 |

(1) スーパーEpoアスコン (アスファルト系)

スーパーEpoアスコンは、物流施設のトラックバースに適用し、供用から6年が経過している。改修前の状況を写真-7に、供用2年3ヶ月後の路面状況を写真-8に、追跡調査結果を図-8に示す。改修前は静止荷重により50mm以上の寄りが発生していた箇所であるが、供用2年3ヶ月のひび割れ率およびわだち掘れ深さは、それぞれ1.5%、7.3mmであり、健全な状態を維持している。また、本施工場所は、すえ切り等が発生する箇所ではあるが、供用による路面の荒れや骨材飛散等は認められず、路面状況は良好と判断される。



写真-7 改修前の状況 写真-8 供用2年3ヶ月後の路面

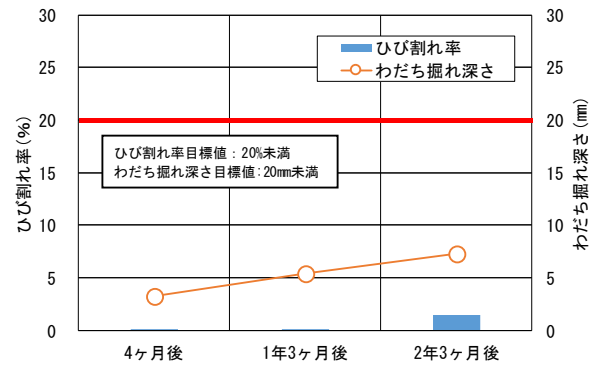


図-8 追跡調査結果

(2) スーパーポリアスコン (アスファルト系)

スーパーポリアスコンについても、物流施設のトラックバースで適用している。スーパーポリアスコンの施工は、通常の舗装工の機械編成で行い、通常のアスファルト舗装と同等の施工性を有している(写真-9)。また、供用1年後の追跡調査では、ひび割れや骨材飛散等は認められず、駐車帯のわだち掘れ深さは、改質II型アスコンが8mmに対して、スーパーポリアスコンは0~2mmとなり、耐静止荷重性に優れていることを確認している。



写真-9 スーパーポリアスコンの施工状況

(3) ウルトラペーブ H (半たわみ性系)

ウルトラペーブ H は、パーキングエリアの大型車駐車スペースへ適用している。施工時の高強度セメントミルクの流動性は、フロー値 (P ロート法) では従来品に比べ大きいものの、施工性・充填性は良好であることを確認している。なお、写真-10 に示す供用 1 年後の追跡調査の目視観察では、ひび割れやわだち掘れの発生は認められない。また、駐停車車両から流れたオイルの痕跡が路面に認められたが、損傷等はなく健全な状態を維持している。ウルトラペーブ H は、従来型半たわみと比べて舗装表面のセメントミルクの摩耗が小さく、耐摩耗性にも優れていることも確認されている。



写真-10 ウルトラペーブ H の供用状況 (供用 1 年)

FWD のたわみ量測定結果から、逆解析による弾性係数を算出した結果を表-8 に示す。ウルトラペーブ H の弾性係数は従来型半たわみ性混合物より大きい値を示しており、従来型よりも剛性のある舗装体であると判断できる。

表-8 逆解析による弾性係数

| | 従来型半たわみ | ウルトラペーブ H |
|------------|---------|-----------|
| 弾性係数 (MPa) | 6,200 | 7,013 |

5. まとめ

以上の結果から、開発した高耐久性舗装の適用性を分類すると、表-9 に示すとおりである。

本開発では、高耐久性舗装をアスファルト系と半たわみ性系に分けて検討したが、施工性から判断すると、半たわみ性系は母体アスコンを構築した後、セメントミルクを注入・充填させる 2 工程となるため、その後の養生も含め、アスファルト系に比較して劣ることは否めない。一方、アスファルト系は、載荷時間と温度に依存する粘弾性体であることから、静荷重によるクリープ現象を抑制するには限界がある。このような両者の得失を評価した本検討の成果により、大型車や重荷重車が長時間停車する箇所またはねじれ作業を行う箇所の舗装にはウルトラペーブ H、これらが走行する箇所の舗装にはスーパー Epo アスコン、スーパーポリアスコン舗装を適用するなど、各種高耐久性舗装の体系化ができたと考えている。

表-9 高耐久性舗装の適用分類

| | | アスファルト系 | | | 半たわみ性系 | |
|------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | 改質 II 型アスコン | スーパー Epo アスコン | スーパーポリアスコン | 従来型半たわみ | ウルトラペーブ H |
| 耐久性※ | 耐流動性 | 1 | 2.5 倍 | 3 倍 | 3 倍 | 3 倍 |
| | 耐水性 cycle (mm) | 1 (5.7) | 2 倍以上 (4) | 2 倍以上 (3.1) | 2 倍以上 (2.7) | 2 倍以上 (1.4) |
| | 耐静止荷重性 (h) | 1 | 10 倍以上 | 2 倍以上 (3.1) | 2 倍程度 | 20 倍以上 |
| | たわみ性 ($\times 10^{-3}$) | 1 倍 | 1.4 倍 | 0.9 倍 | 1.5 倍 | 1.2 倍 |
| | 耐油性 (kN) | 1 倍 | 3 倍以上 | 4 倍以上 | 4 倍 | 6 倍以上 |
| | 評価 | △ | ○ | ○ | ○ | ◎ |
| 施工性 | 施工 (日当り施工量) | 1,500~2,000m ² /日 | 1,500~2,000m ² /日 | 1,500~2,000m ² /日 | 1,000~1,500m ² /日 (注入) | 1,000~1,500m ² /日 (注入) |
| | 養生時間 | 2h 程度 | 2h 程度 | 2h 程度 | 8h~24h | 4h~8h |
| | 評価 | ◎ | ○ | ◎ | △ | ○ |
| 適用箇所 | 大型車交通量が多い道路 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ◎ |
| | 重荷重車の走行路 | △ | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| | 大型車の長時間停車重荷重車のねじり作業場 | △ | ○ | ○ | ○ | ◎ |

※改質 II 型アスコンを 1 としたときの値

参考文献

- 1) 朴ほか：高耐久性舗装の開発と体系化の検討，第 21 回舗装技術に関する論文集
- 2) 川上ほか：長寿命化に寄与する高耐久性アスファルト舗装の供用性，第 33 回日本道路会議論文集，投稿中
- 3) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，平成 19 年 6 月
- 4) 朴ほか：HWT 試験によるアスファルト混合物の評価と適用性，第 32 回日本道路会議論文集，3P08，平成 29 年 10 月
- 5) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社，NEXCO 試験方法：アスファルト舗装関係試験方法 C043-2007-NEXCO 試験法条件，平成 29 年 7 月
- 6) 国土交通省道路局：舗装点検要領，p9，平成 29 年 3 月